

# РЕКУРСИВНЫЙ АЛГОРИТМ В МОДЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ ПОТРЕБНОСТЕЙ АГЕНТА

Клебанов Б.И.<sup>1</sup>, Антропов Т.В.<sup>1</sup>, Рябкина Е.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина  
проспект Мира, 19, Екатеринбург, Свердловская обл., 620002, Россия  
тел.: (343) 375-48-48, e-mail: kbi11@yandex.ru

**Аннотация** — Данная работа посвящена разработке принципов построения модели развития искусственного общества, основанной на процессах возникновения и реализации потребностей конкретных агентов. «Движком» модели является динамическая актуализация потребностей агентов, учитывающая постоянное стремление агентов к усилению и/или сохранению своих возможностей, в том числе с учетом их перемещения в пространстве. При отсутствии условий для выполнения выбранного рецепта удовлетворения потребности рекурсивно генерируются другие потребности, и таким образом определяется стратегия поведения агента.

## THE RECURSIVE ALGORITHM IN THE MODEL OF AGENTS' NEEDS IMPLEMENTATION

Klebanov B.I.<sup>1</sup>, Antropov T.V.<sup>1</sup>, Riabkina E.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin  
pr. Mira, 19, Yekaterinburg, Sverdlovsk region, 620002, Russian Federation  
ph.: 375-48-48, e-mail: kbi11@yandex.ru

**Abstract** — The paper is devoted to the development of model construction principles of an artificial society development. This model is based on the actualization and implementation of specific agents' needs. The "engine" of the model is the dynamic actualization of agents' needs considering constant tendency of agents to strengthening and/or preservation of the opportunities including their movement in space. In the absence of conditions for implementation of the chosen need satisfaction recipe, secondary needs are recursively generated and thus the agent's behavior strategy is defined.

### I. Введение

Актуальность данной работы обусловлена тем, что в настоящее время моделирование, основанное на социальных агентах, получило широкое распространение в мире, так как оно помогает решать многие задачи, связанные с поведением человека в различных ситуациях. Создание эволюционной модели развития общества предназначено для описания, объяснения, управления и прогнозирования свойств и отношений социальных агентов, в частности, объяснения актов поведения и сознания социальных агентов в зависимости от свойств социальной системы, в которую включен социальный агент.

Несмотря на очевидную востребованность решения данной задачи, в настоящее время существует относительно небольшое количество абстрактных архитектур для создания когнитивных, реактивных и гибридных агентов, способных воспроизводить заложенный разработчиком процесс мышления человека, большинство существующих мультиагентных моделей направлено на изучение и прогнозирование конкретных сфер общества и не затрагивает возникновение социального взаимодействия в целом.

Поэтому разработка модели, направленной на изучение социального взаимодействия агентов, является актуальной задачей, которая может дополнить все существующие модели, затрагивающие мышление и поведение агента-человека.

Как уже было отмечено, в настоящее время большинство существующих мультиагентных поведенческих моделей, разработанных для анализа социально - экономического развития, направлено на изучение конкретных сфер общества и не затрагивает возникновение социального взаимодействия в целом. Как отмечает В. Макаров,

практически все существующие АОМ рассматривают либо отдельную отрасль, либо небольшую популяцию агентов [6]. Особую роль в задачах анализа поведения занимают модели эволюции развития общества и, в частности анализ его структурной устойчивости. И. Пригожин отмечает, что одной из наиболее важных проблем в эволюционной теории является возникающая обратная связь между макроскопическими структурами и микроскопическими событиями: макроскопические структуры, возникая из микроскопических событий, должны были в свою очередь приводить к изменениям в микроскопических механизмах [7]. Бывает, что в результате микроскопических действий (на уровне шума) в системе начинаются новые процессы, такие, как создание запасов пищи и образование новых колоний, которые заходят в своем развитии настолько далеко, что позволяют в какой-то мере избежать воздействия внешних флуктуаций. Изучение этих вопросов, рисков перехода системы из одного состояния в другое также невозможно без проведения «скрупулезного» поведенческого моделирования.

Классическая BDI архитектура, представленная авторами Rao и Georgeff [10], предполагает, что рассуждения агента выполняются с использованием механизмов вывода на основе ментальных понятий агента, представленных некоторыми структурами знаний, однако, у неё есть большая проблема актуализации и выбора стратегии, а также большие затраты ресурсов машинного времени при планировании, если агент ограничен ресурсами при решении сложных проблем. В EBDI архитектуру агента, разработанную авторами [9,11], включены эмоции. Она предполагает обучение агента, однако лишена тех же характеристик, что и классическая BDI модель агента. Чаще всего построенные модели имеют направленность на решение проблем таких

аспектов общества как логистика, транспортные перевозки [8] и т.д.

Проводимое исследование посвящено разработке мультиагентной модели, которая может быть применена для анализа эволюции развития общества в целом.

## II. Основная часть

### Среда

Предполагается использование двух типов сред: Еmap – карта местности, представляющая собой набор объектов и координаты, соответствующие им.

Emsg – множество сред передачи сообщений (звуковое пространство, электромагнитные поля, почта и т.п.)

### Объекты

В модели применяются два вида объектов: активные и пассивные. Активные агенты – это животные, люди, институциональные образования, роботы и т.п. По отношению к другим агентам активные агенты могут рассматриваться как противники, помощники или нейтральные лица в реализации потребностей. Модели пассивных объектов используются для представления природных или искусственных объектов, которые меняются или не меняются с течением времени под влиянием внешних или внутренних факторов, но не имеют потребностей и не борются за свое существование.

Определим  $A$  – множество всех объектов,

$$A = Aact \cup Apas$$

Где

$Aact$  – множество активных агентов,

$Apas$  – множество пассивных агентов.

Кроме того, у активных и пассивных объектов есть свои типы.

$PasType \{aPasItem_i\}$  – множество типов пассивных агентов, где  $aPasItem_i$  – тип пассивного агента.

$ActType \{aActItem_i\}$  – множество типов активных агентов, где  $aActItem_i$  – тип активного агента.

### Экземпляры объектов

У каждого экземпляра объекта определенного типа есть набор свойств – атрибутов, от значений которых зависит, например, поведение активных агентов. Пусть  $apas_i$  – экземпляр пассивного агента,  $aact_i$  – экземпляр активного агента, тогда:

$$apas_i \in Apas, aact_i \in Aact$$

$$apas_i = \{aPasItem_i, Atr_i\}$$

$$aact_i = \{aActItem_i, Atr_i\},$$

где  $Atr_i$  – атрибуты  $i$ -ого объекта.

В качестве атрибутов объектов выступают:

- Тип,
- Имя,
- Координаты,
- Энергетическая ценность экземпляра объекта в момент времени  $t_j$ ,
- Физическое состояние – уровень жизненных сил агента,
- Возраст,
- Объем, размеры,
- Значения специфических атрибутов и свойств,
- Роли в действующих и исторических отношениях,
- Множество объектов, составляющих объект;

Множество объектов, частью которых может быть данный объект.

Дополнительно активный агент представлен следующими данными:

- Система приоритетов потребностей,
- Множество заявок на реализацию потребностей с временными ограничениями,
- Уровень потребности  $p_i$  в момент времени  $t_j$ ,
- Способность к прогнозу и принятию решений, склонности и т.д.,
- Пространственно, правово и повременно -доступные агенту ресурсы (курица в холодильнике),
- Характеристики интерфейсов агента с внешней средой (рецепторов и эффекторов),
- Дальность видимости,
- Дальность слышимости,
- Дальность распространения информации голосом,
- Дальность распространения информации руками, и т.д.
- Самостоятельная скорость передвижения в зависимости от ландшафта (при отсутствии препятствий, ....),
- Теоретические знания (ссылки на ГБЗ),
- Опыт (навыки) использования теории (ссылки на ГБД и ГБЗ),
- Умения,
- Знания текущей и исторической обстановки (ссылки на ГБД), карты,
- Убеждения, ограничения,
- Тип психики,
- Подмножество объектов, которое доступно агенту в момент времени  $t_j$
- Пространственно, правово и по времени - доступные агенту усилители рецепторов (т.е. те, которых может сразу использовать, никуда не перемещаясь и никого не спрашивая, например, бинокль рядом свой),
- Пространственно, правово и по времени - доступные агенту усилители эффекторов (это средства труда, механизмы, например, своя дрель),
- Текущее состояние исполняемых потребностей по всей рекурсии, в том числе:
  - захваченные для исполнения ресурсы,
  - захваченные для исполнения средства (эффекторы и рецепторы, мозг при длительном решении задачи, механизмы),
- История: множество стратегий реализации потребностей, которые агент выполнял;
- История: результат взаимодействия агента  $aact_i$  с другими агентами,
- Ссылки в ГБЗ типа «ИНСТИНКТ» на инстинктивно вызываемые агентом рецепты реализации собственных потребностей;

- Ссылки в ГБЗ типа «**знает**» на известные агенту **рецепты** реализации собственных потребностей;
- Ссылки в ГБЗ типа «**умеет**» на известные агенту и реализуемые самостоятельно **рецепты** реализации собственных потребностей;
- **Отношения** с другими агентами и роли в отношении (например, множество активных агентов, которые владеют агентом),
- Множество объектов, составляющих объект;
- Множество объектов, частью которых может быть данный объект.
- История взаимодействий агентов:
- **result** = 1 – результат положительный, **result** = 0 – отрицательный,
- **Известные агенту** сведения о вышеперечисленных свойствах (размещении, атрибутах, знаниях и умениях) **других объектов**.

### Потребности

В рамках данной работы предлагается рассматривать потребность агента как желание перехода из текущего состояния нужды в желаемое состояние или желание сохранения текущего состояния, т.е. потребность в действиях, выполняемых самим агентом или внешним окружением и обеспечивающих данный переход или противодействие изменению состояния. Другими словами, потребность рассматривается как заявка агента на действия по ее удовлетворению.

Пусть  $P$  – множество всех потребностей, которые может ощущать активный агент. Тогда

$$P = P_{Basic} \cup P_{Second},$$

где  $P_{Basic}$  – множество основных (первичных) потребностей (например, по Маслоу []);  $P_{Second}$  – множество вторичных потребностей, необходимых для реализации первичных потребностей.

$$P_i = p_{Basic_i} \cup p_{Second_i},$$

где

$P_i$  – подмножество потребностей, которое ощущает активный агент в определенный момент времени.  $p_{Basic_i}$  – конкретная основная потребность;  $p_{Second_i}$  – конкретная вторичная потребность.

Например, под первичными потребностями понимаются потребность в еде, пополнении жизненных сил, потребность в жилье и другие. Вторичными потребностями являются потребность предложения, спроса; потребность развития и усиления возможностей, потребность выбора и другие.

Потребности имеют уровень и представляются в виде пары  $(p_i, level_i)$ , где  $level_i$  – уровень потребности  $p_i$ .

Первичная потребность возникает у активного агента, если ее уровень становится меньше порогового значения  $levelThreshold$ . Значение уровня потребности изменяется в пределах  $0 < level_i < maxlevel$ , где  $maxlevel$  – максимальный уровень потребности  $p_i$ . Каждый промежуток времени  $t$  значение уровня потребности уменьшается на величину  $\alpha$ .

Введена классификация индивидуальных потребностей по типам действий:

- Поиск объектов;

- Правовой, пространственный и временной доступ к объектам;
- Создание объектов;
- Изменение объектов;
- Разрушения (ликвидации) объектов;
- Защита объектов;
- Накопление и хранение объектов;
- Обучение и приобретения опыта;
- Установление отношений;
- Создание множества вариантов и выбора решения по способу реализации потребностей.
- В рамках каждого из перечисленных типов действий, как пассивные объекты, так и агенты могут выступать в качестве:
- Входных и выходных ресурсов;
- Средств исполнения и управления;
- Внешних условий реализации потребности.
- Введена следующая классификация потребностей, исходно предполагающих взаимодействие нескольких агентов:
- Обмен ресурсами между агентами;
- Общение для удовольствия; (игра, совместное времяпровождение);
- Безвозмездная передача товаров и оказание услуг, взаимопомощь;
- Аренда, кредит, депозит;
- Инвестирование;
- Институализация (создание организаций);
- Борьба, захват – защита собственности;
- Лоялизация (реклама, пропаганда, воздействие на психику, борьба за умы);
- Подчинение, управление.

### Базы знаний и данных

В рассматриваемой системе учтены следующие особенности решаемой задачи:

1. Обеспечение возможности выделения ментальных знаний из глобальных;
2. Индивидуальные ограничения знаний и умений агентов.

Ментальная база знаний каждого агента образуется подмножеством глобальных идентификаторов – элементов знаний из ГБД с указанием уровня владения этим знанием. Ментальная база данных накапливается и сокращается активным агентом в процессе его жизнедеятельности. Уровень владения объемом знаний меняется в процессе жизни активного объекта.

Основой предлагаемой модели являются:

- Глобальная база знаний (ГБЗ) (с т.з. Внешнего наблюдателя);
- Ментальная база знаний агентов (МБЗ) (знания, умения);
- Глобальная база данных (состояние) среды (с т.з. Внешнего наблюдателя);
- Ментальная база данных агентов (МБД).
- Состав глобальной базы знаний:
- Классификация и структура рецептов удовлетворения потребностей агентов;
- Классификация, структура и поведение объектов среды.
- Состав ментальной базы знаний агента:
- Множество ссылок на элементы ГБЗ с указанием уровня знания и умения.

Состав ментальной базы данных агента:

Множество ссылок на элементы ГБД с указанием уровня достоверно.

*Knowledge* – глобальное множество знаний об объектах. Знания в ГБЗ содержатся в виде двух баз данных: знания о рецептах выполнения потребностей и об объектах. Массив  $know_i$ , определяющий знания  $i$ -ого агента, состоит из ссылок из множества ссылок на типы рецептов и объектов.

В момент запуска имитации агентам известно только некоторое количество знаний из ГБЗ. Впоследствии знания агентов увеличиваются в силу каких-либо факторов, агенты обучаются, получают опыт и т.д., при этом теоретически возможен вариант, когда агент расширит свою базу знаний до ГБЗ. Долго неиспользуемые агентом знания могут забываться.

В ГБЗ определена связь между потребностями и рецептами ее удовлетворения (связь один ко многим). Выбранные агентом рецепты могут масштабироваться для удовлетворения конкретных потребностей. В глобальной базе данных содержатся сведения обо всех экземплярах объектов, находящихся на карте в момент начала симуляции.

### Сообщения

Для осуществления взаимодействия между активными агентами использован механизм обмена сообщениями, используя при этом разные среды передачи информации. При этом минимальным условием для осуществления сделки между агентами является пересечение зоны распространения сообщения отправителя и зоны слышимости сообщения получателя. Более детально вопрос взаимодействия будет рассмотрен в следующих работах.

### Представление рецепта

Рецепт определяет действие, которое можно выполнять над каким-то типом объекта, чтобы удовлетворить заданную потребность. Для осуществления каких-то действий могут возникать дополнительные потребности, которые вызывают свои рецепты. Стратегией назовем набор рецептов, который удовлетворяет вспомогательные потребности, а затем основную потребность. Используемые последовательности рецептов могут накапливаться, увеличивая опыт агентов.

Рецепт кроме непосредственно действия, представлен входными ресурсами, средствами для его выполнения, управляющим воздействием, а также выходными ресурсами. Каждый экземпляр рецепта также имеет свои атрибуты, такие как время выполнения, успешность и другие.

*RecipeMas* – множество рецептов.

$Recipe_k \in RecipeMas$

$Recipe_k = \{(d_j, td_j^0), in_i, res_i\}$ ,

где  $d_j$  – конкретное действие;  $td_j^0$  – время выполнения действия;  $in_i$  – входные ресурсы, средства и управление;  $res_i$  – выходные ресурсы.

$td_j^0$  зависит от состояния агента(ов).

### Цикл реализации потребности

С учетом принятого в рамках данной работы положения, что потребность – это заявка на выполнение действий по переводу агента в требуемое состояние или сохранение состояния на основе цикла BDI, был разработан новый цикл,

основная часть которого может быть представлена в следующем виде:

1. Формирование потребности (тип, параметры (исходное и желаемое состояние));

2. Выбор приоритетной потребности (тип, параметры);

3. Актуализация множества возможных рецептов и выбор исполняемого рецепта (с учетом прогноза реализуемости, верой в реализуемость);

4. Рецепт может быть реализован без предварительных действий, (возможно путем масштабирования имеющихся средств)? Да – переход к п.5; Нет – «заморозка исполнения», формирование дополнительных потребностей необходимых типов с нужными параметрами и переход к п.2;

5. Запуск выбранного рецепта с параметрами, обеспечивающими выполнение потребности.

6. Ожидание момента окончания выполнения рецепта или отказа от его исполнения.

7. Рецепт выполнен? Да – переход к п. 8. Нет – восстановление потребности, переход к п. 2;

8. «Разморозка» исполнения ожидающих рецептов? Да – переход к п.1, Нет – конец.

Пусть  $p_i$  – потребность, выбранная агентом в текущий момент времени  $t$ , тогда

#### • Результат актуализации

$A_i = AK(p_i)$ , где  $AK$  – функция определения множества выбора рецепта.

Функция  $AK$  вызывается, если множество выбора рецепта либо пустое, либо оно не устраивает агента. Расширение множества выбора происходит по следующим шагам:

1. Агент выбирает множество рецептов из уровня инстинкта. Если агенту достаточно этого множества для выбора рецепта, то  $A_i = R_0$ ;

2. Агент выбирает множество рецептов из локальной истории (опыта) применения рецептов удовлетворения потребности. Если агенту достаточно этого множества для выбора рецепта, то  $A_i = R_1$ ;

3. Агент выбирает множество рецептов из локальных знаний, полученных в процессе обучения, чтения книг и т.д. Если агенту достаточно этого множества для выбора рецепта, то  $A_i = R_2$ ;

4. Агент самостоятельно выполняет поиск новых рецептов удовлетворения потребности через свои органы чувств, выполняя какие – либо действия (сделать – услышать, увидеть, почувствовать). В этом случае, если агенту достаточно этого множества,  $A_i = R_3$ ;

5. Агент может использовать чужой опыт и обратиться к внешней памяти – информационные базы внутри мультиагентной среды. Тогда  $A_i = R_4$ . В этом случае агент может получить опыт от других агентов, обмениваясь с конкретным агентом сообщениями, либо посылая запрос в среду обмена

сообщениями. Также он может использовать интернет.

В случае, когда расширенное множество после этого все равно не позволяет выбрать из него рецепт удовлетворения потребности по каким-либо причинам, происходит отказ от поиска рецепта.

- **Выбор рецепта удовлетворения потребности**

$rc_i = VI(A_i)$ , где  $VI$  – функция выбора рецепта.

Выбор рецепта осуществляется из множества выбора рецепта, определенном на предыдущем шаге актуализации, на основе анализа нескольких параметров. Методы выбора в данной статье не рассматриваются, этот вопрос требует отдельного разговора.

- **Выбор объектов входных ресурсов, средств и управления**

$in_i = ST(rc_i)$  где  $ST$  – функция выбора входных ресурсов, средств и управления.

Для каждого рецепта в базе знаний представлены возможные классы объектов, которые могут выступать как входные ресурсы, средства и объекты управления. Агент должен выбрать из этих классов экземпляры объектов. Выбор объектов также не рассматривается в данной статье.

- **Реализация стратегии**

$r_i = RE(in_i)$  где  $RE$  – функция реализации стратегии.

Если для выполнения рецепта недостаточно чего-либо, например, входных ресурсов или, может быть, средств, то порождается новая потребность, удовлетворение которой сделает возможным удовлетворение основной потребности. При этом вызов новых потребностей происходит рекурсивно. Как следствие возникает стратегия, выполнение которой приведет к удовлетворению основной потребности.

- **Удовлетворение потребности**

$u_i = UD(r_i)$  где  $UD$  – функция удовлетворения потребности.

Таким образом, общее выражение для реализации потребности можно представить следующим образом:

$$u(p_i) = UD \left( RE \left( ST \left( VI \left( AK(p_i) \right) \right) \right) \right)$$

### III. Заключение

В данной статье представлено описание построенной модели развития общества. Определены типы объектов, их основные свойства, благодаря которым можно создать разнообразие поведений агентов в системе, представлены механизм обмена информацией между агентами, детализированный алгоритм удовлетворения потребности агентами на основе рецептов их удовлетворения. Общее описание модели и сравнение существующих архитектур с архитектурой данной модели приведены в [1]. На основе разработанной концепции разработан экспериментальный проект в среде RePast Symphony на скриптовом языке Groovy. Результаты экспериментов подтвердили правильность предложенного подхода и возможность его использования для выбора вариантов управления развитием территории.

В рамках данной статьи не представляется возможным рассказать обо всех особенностях построенной модели, например, здесь мы не коснулись такого важного вопроса как особенности выбора объектов реализации потребности, стратегии. Другим вопросом, требующим особого внимания, является взаимодействие активных агентов. Указанные вопросы будут освещены в будущих публикациях.

### IV. Литература

- [1] Клебанов Б.И., Антропов Т.В., Рябкина Е.М. Принципы построения расширенной BDI архитектуры агента в модели развития общества, Теоретические основы и методология имитационного и комплексного моделирования (IMMOD), Россия, pp 116–120, 2015.
- [2] Клебанов Б.И., Антропов Т.В., Рябкина Е.М. Один подход к построению имитационной модели развития общества на основе учета потребностей агентов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: [www.science-education.ru/121-18155](http://www.science-education.ru/121-18155) (дата обращения: 14.06.2015).
- [3] Клебанов Б.И., Антропов Т.В., Рябкина Е.М. // Представление знаний об агенте в модели развития общества с точки зрения исследователя / Передача, обработка, восприятие текстовой и графической информации: материалы международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 19–20 марта 2015 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2015. — С. 277-281.
- [4] Клебанов Б.И., Антропов Т.В., Рябкина Е.М. // Принципы построения планов реализации потребностей агентов в модели развития общества / Передача, обработка, восприятие текстовой и графической информации: материалы международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 19–20 марта 2015 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2015. — С. 272-276.
- [5] Клебанов Б.И., Антропов Т.В., Рябкина Е.М. // Расширенная BDI архитектура агента в модели развития общества / Передача, обработка, восприятие текстовой и графической информации: материалы международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 19–20 марта 2015 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2015. — С. 264-271.
- [6] Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агентно ориентированные модели). М.: Экономика, 2013. – 295 с.
- [7] Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. — М.: Прогресс, 1986. — 432 с.
- [8] Скобелев П.О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах, Автоматика и телемеханика, Россия, vol. 1, pp 177–185, 2003.
- [9] Hong Jiang, Jose M. Vidal, Michael N. Huhns. EBDI: An Architecture for Emotional Agents. – 2011.
- [10] Rao A., Georgeff M. P. BDI-agents: From Theory to Practice. In Proceedings of the first international conference on multiagent systems (ICMAS-95), pp 312–319, San Francisco, 1995.
- [11] Wooldridge M. J. An introduction to multiagent systems, John Wiley & Sons, LTD, Baffins Lane, Chichester, West Sussex, England, 2001.